

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-299310

(43)Date of publication of application : 24.10.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065
H01L 29/84

(21)Application number : 11-353393

(71)Applicant : DENSO CORP

(22)Date of filing : 13.12.1999

(72)Inventor : OOHARA ATSUSHI
YOSHIHARA SHINJI
KANO KAZUHIKO
OYA NOBUYUKI

(30)Priority

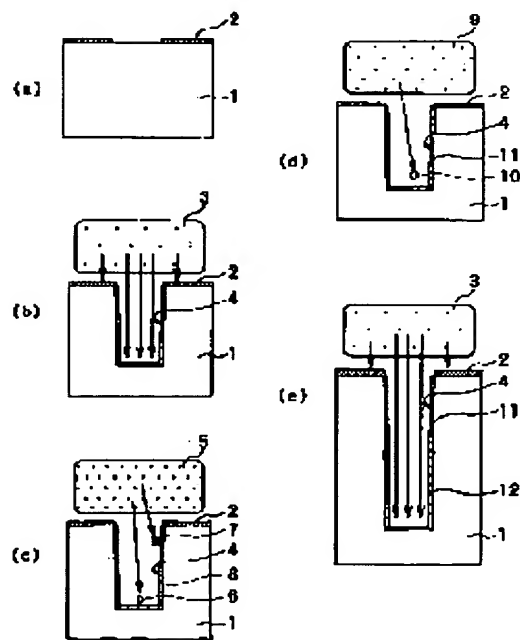
Priority number : 11034671 Priority date : 12.02.1999 Priority country : JP

(54) MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently form a trench which has high aspect ratio, using a relatively simple means.

SOLUTION: An initial trench 4 is formed by etching an Si substrate 1 through reactive ion etching by using an oxide film mask 2 as a mask. Then, after a protective oxide film 11 is formed on the inner wall of the trench 4, the film 11 formed on the bottom of the trench 4 is etched by reactive ion etching together with the substrate 1 which forms the bottom of the trench 4. The steps of forming the protective oxide film 11 and of etching the bottom of the trench 4 are repeated, until the depth of the trench 4 becomes a prescribed value. These steps are performed in the same chamber to perform plasma treatment, by switching the gas species introduced into the chamber.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

THIS PAGE BLANK (US:

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-299310

(P2000-299310A)

(43) 公開日 平成12年10月24日 (2000. 10. 24)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 L 21/3065
29/84

識別記号

F I

H 0 1 L 21/302
29/84

テーマコード* (参考)

J 4 M 1 1 2
Z 5 F 0 0 4

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平11-353393

(22) 出願日 平成11年12月13日 (1999. 12. 13)

(31) 優先権主張番号 特願平11-34671

(32) 優先日 平成11年2月12日 (1999. 2. 12)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004260

株式会社デンソー

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 大原 淳士

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(72) 発明者 吉原 晋二

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会
社デンソー内

(74) 代理人 100100022

弁理士 伊藤 洋二 (外2名)

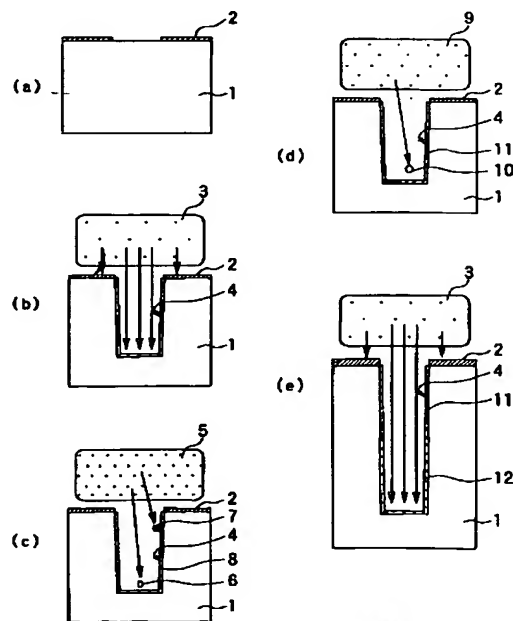
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 比較的簡便な手段を用いて効率的に、アスペクト比の高いトレンチ形状を得られるようにする。

【解決手段】 酸化膜マスク2をマスクとして、S i 基板1を反応性イオンエッチングして初期のトレンチ4を形成する。次に、トレンチ4の内壁に保護酸化膜11を形成したのち、反応性イオンエッチングによりトレンチ4の底部に配置された保護酸化膜11をエッチングすると共に、トレンチ4の底部においてS i 基板1のエッチングを進める。そして、保護酸化膜11を形成する工程とトレンチ底部の再エッチング工程を繰り返し行ない、トレンチ4が所定の深さになるようにする。これらの工程をチャンバ21に導入するガス種を切り替えながら、プラズマ処理を行なうことによって、同一チャンバ内で行なうようにする。



1: S i 基板
2: 酸化膜マスク
3: エッチングガスのプラズマ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 反応性イオンエッチングによりマスク（2）を施した半導体基板（1）をエッチングし、前記半導体基板上に前記マスク形状に対応したトレンチ形状を形成する半導体装置の製造方法において、前記半導体基板をチャンバー（21）内に導入する工程と、

前記マスクを用いて、前記半導体基板を反応性イオンエッチングするトレンチ形成工程と、

前記反応性イオンエッチング工程で形成されたトレンチ（4）の内壁に保護膜（11）として酸化膜を形成する工程と、

前記トレンチの底部に配置された前記保護膜をエッチングしたのち、さらに、前記トレンチの底部において前記半導体基板を前記反応性イオンエッチングするトレンチ底部再エッチング工程とを有し、

前記保護膜形成工程と前記トレンチ底部再エッチング工程とを繰り返し行ない、かつ、前記トレンチ形成工程、前記保護膜形成工程、および前記トレンチ底部再エッチング工程の各工程を前記チャンバー内に導入するガス種を切り替えながらプラズマ処理することによって行い、前記トレンチ形状を形成することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項2】 前記保護膜形成工程時に導入するガスを酸素ガスとすることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項3】 反応性イオンエッチングによりマスク（2）を施した半導体基板（1）をエッチングし、前記半導体基板上に前記マスク形状に対応したトレンチ形状を形成する半導体装置の製造方法において、前記半導体基板をチャンバー（21）内に導入する工程と、

前記マスクを用いて、前記半導体基板を反応性イオンエッチングするトレンチ形成工程と、

前記反応性イオンエッチング工程で形成されたトレンチ（4）の内壁に保護膜（11）として窒化膜を形成する工程と、

前記トレンチの底部に配置された前記保護膜をエッチングしたのち、さらに、前記トレンチの底部において前記半導体基板を前記反応性イオンエッチングするトレンチ底部再エッチング工程とを有し、

前記保護膜形成工程と前記トレンチ底部再エッチング工程とを繰り返し行ない、かつ、前記トレンチ形成工程、前記保護膜形成工程、および前記トレンチ底部再エッチング工程の各工程を前記チャンバー内に導入するガス種を切り替えながらプラズマ処理することによって行ない、前記トレンチ形状を形成することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項4】 前記保護膜形成工程時に導入するガスを窒素ガスとすることを特徴とする請求項3に記載の半導

体装置の製造方法。

【請求項5】 前記保護膜形成工程の前に、前記反応性イオンエッチングによって形成されたトレンチの内壁に付着した反応生成物（8）を除去する工程を含み、前記トレンチ形成工程に対して前記チャンバー内に導入させるガス種を切り替えた前記プラズマ処理によって、当該反応生成物除去工程を行なうことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項6】 前記反応生成物除去工程では、導入するガスとして少なくとも不活性ガスを含むガス種を用いることを特徴とする請求項5に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項7】 前記反応生成物除去工程では、導入するガスとしてArガスと酸素ガスとの混合ガスを用いることを特徴とする請求項5又は6に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項8】 反応性イオンエッチングによりマスク（2）を施した半導体基板（1）をエッチングし、前記半導体基板上に前記マスク形状に対応したトレンチ形状を形成する半導体装置の製造方法において、

前記半導体基板をチャンバー（21）内に導入する工程と、

前記マスクを用いて、前記半導体基板を反応性イオンエッチングするトレンチ形成工程と、

前記反応性イオンエッチングによって形成されたトレンチ（4）の内壁に付着した反応生成物（8）を除去すると共に、前記反応性イオンエッチング工程で形成されたトレンチの内壁に保護膜（11）として酸化膜を形成する工程と、

前記トレンチの底部に配置された前記保護膜をエッチングしたのち、さらに、前記トレンチの底部において前記半導体基板を前記反応性イオンエッチングするトレンチ底部再エッチング工程とを有し、

前記反応生成物除去及び保護膜形成工程と前記トレンチ底部再エッチング工程とを繰り返し行ない、かつ、前記反応生成物除去及び保護膜形成工程を前記チャンバー内に酸素ガスを流しながらUV光を照射することによって行ない、前記トレンチ形成工程及び前記トレンチ底部再エッチング工程はエッチングガスを前記チャンバー内に導入しながらプラズマ処理することで行ない、前記トレンチ形状を形成することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項9】 前記プラズマ処理におけるプラズマの生成条件、及び処理時間は前記各工程ごとに個別に設定することを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項10】 前記トレンチ形成工程及び前記トレンチ底部再エッチング工程時に導入するエッチングガスをSF₆ガスを含むガスとすることを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 11】 前記反応性イオンエッチングによる 1 回のエッチング量は、エッチング深さもしくはエッチング時間を制御することによって、該反応性イオンエッチングの前に形成された前記保護膜が該反応性イオンエッチング後においても前記トレンチの側壁面を全面的に覆うことができる程度にされることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 12】 前記トレンチ形成工程および前記トレンチ底部再エッチング工程では、前記反応性エッチングによって形成されるトレンチの側壁の角度が前記半導体基板の表面に対して 90 ± 1 度以内となるように、前記反応性イオンエッチングの時間を制御することとを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 13】 前記各工程は、同一チャンバ内で行なうことを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 14】 マスク (2) を施した半導体基板 (1) をプラズマプロセスを用いてエッチングし、前記半導体基板上に前記マスク形状に対応したトレンチ形状を形成する半導体装置の製造方法において、反応性イオンエッチングにより前記半導体基板をエッチングしてトレンチ (4) を形成するトレンチエッチング工程と、前記トレンチエッチングにより形成されたトレンチの内壁に第 1 の保護膜としてのポリマー膜 (31) を堆積するポリマー膜形成工程とを交互に複数回繰り返す工程と、前記トレンチエッチング工程と前記ポリマー膜形成工程とを交互に複数回繰り返すことによって深く形成されたトレンチの内壁に、ポリマー膜よりエッチングに対する耐性が強い第 2 の保護膜 (32) を堆積する第 2 保護膜形成工程と、を含み、前記トレンチエッチング工程及びポリマー膜形成工程を複数回繰り返す工程と、前記第 2 保護膜形成工程を交互に繰り返すことにより、前記トレンチを深くしていくことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 15】 前記トレンチエッチング工程及びポリマー膜形成工程を複数回繰り返す工程と、前記第 2 保護膜形成工程とを同一チャンバ内で行い、前記チャンバ内に導入するガス種を切り替えながらプラズマ処理することと前記各工程を行うことを特徴とする請求項 14 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 16】 前記トレンチエッチング工程では、エッチングガスとして SF_6 、又は Cl_2 を用いることを特徴とする請求項 14 又は 15 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 17】 前記ポリマー膜形成工程では、該ポリマー膜を堆積する際の導入ガスとして C_4F_8 、又は CF_4 、と CHF_3 の混合ガスを用いることを特徴とする請求項

14 乃至 15 のいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 18】 前記第 2 保護膜形成工程時に導入するガスを酸素を含むガスとすることにより、前記第 2 の保護膜として酸化膜を形成することを特徴とする請求項 14 乃至 17 のいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 19】 前記第 2 保護膜形成工程時には、酸素を含むガスを導入しながら UV 光を照射することにより、前記第 2 の保護膜として酸化膜を形成することを特徴とする請求項 14 乃至 17 のいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 20】 前記第 2 保護膜形成工程時に導入するガスを窒素を含むガスとすることにより、前記第 2 の保護膜として窒化膜を形成することを特徴とする請求項 14 乃至 17 のいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 21】 前記トレンチエッチング工程及び前記ポリマー膜形成工程を複数回繰り返す工程の工程時間は、前記第 2 保護膜がトレンチ側面上からエッチングにより除去されるまでの時間よりも短く設定することとを特徴とする請求項 14 乃至 20 のいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 22】 前記トレンチエッチング工程及び前記ポリマー膜形成工程を複数回繰り返す工程では、前記トレンチの深さに応じて、プラズマ条件を設定することを特徴とする請求項 14 乃至 21 のいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 23】 前記第 2 保護膜形成工程では、前記トレンチの深さに応じて、プラズマ条件、工程時間を設定することを特徴とする請求項 14 乃至 22 のいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 24】 請求項 1 乃至 23 に記載の半導体装置の製造方法によって形成され、前記トレンチが、前記保護膜形成工程と前記トレンチ底部再エッチング工程を繰り返すことによって、あるいは、前記トレンチエッチング工程及び前記ポリマー膜形成工程を複数回繰り返す工程と前記第 2 保護膜形成工程を繰り返すことによって生じる微小な段差形状を有してなり、該トレンチにて梁構造体が構成されてなることを特徴とする半導体力学量センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、トレンチを有する半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体加速度センサや半導体角速度センサの力学量検出部は、主に基板上に形成された微小な櫛歯状の梁構造体 (以下、櫛歯状構造体という) から構成されている。櫛歯状構造体は、静電力を介して検出する

構造となっているため、センサの小型化や高性能化のために、櫛歯間の間隔を狭くとり、各々の櫛歯の厚さを厚くとる必要がある。

【0003】この櫛歯状構造体は、基板表面にマスクを形成し、マスク上からドライエッチングによって形成されることが多い。従って、互いの間隔が狭く、厚みのある櫛歯状構造を実現するためには、エッチングによって形成されるトレンチ（溝）のアスペクト比、つまりトレンチ開口幅に対するトレンチ深さを高くする必要がある。

【0004】しかしながら、このトレンチ形状の高アスペクト比化には、加工技術上の限界がある。これは通常のドライエッチングの場合、いかに異方性の高い（＝基板に垂直方向へのエッチングレートが他方の方向へのエッチングレートに比べて速い）エッチング方式であっても、トレンチ形状が基板最表面を中心に溝幅方向にも少しずつエッチングが進行してしまうことが原因となっている。このため、長時間エッチングを行うと、溝幅は徐々に広がってトレンチの断面形状はV字形状になり、アスペクト比はある段階で飽和してしまうのである。

【0005】この問題を解決するための方法が、米国特許第5,501,893号明細書に開示されている。具体的には、エッチングプロセスをチャンバー内に流す材料ガスを切り替えることで、①異方性の高いプラズマエッチング、②ポリマー系の薄膜堆積の2ステップを交互に行なうというドライエッチング技術が開示されている。

【0006】この方法では、薄膜堆積のステップにおいて、掘り進んだ各トレンチ内壁面（および底面）にポリマー系の薄膜を堆積させることで、薄膜を保護膜として機能させ、次のプラズマエッチングのステップの際にトレンチ側壁面がエッチングされるのを防ぐようにしている。このようにして、前述の開口幅方向へのエッチングの進行を抑え、トレンチ形状のアスペクト比上限を通常のドライエッチングよりも向上させている。

【0007】しかしながら、ポリマー系の薄膜では、側壁面をエッチングから完全に保護することはできず、わずかずつではあるが溝幅が広がり続けるため、やはりアスペクト比の限界が存在する。図9は、反応性ドライエッチング（RIE）装置を用いて、上記した方法で発明者らが試験的にトレンチ加工を行った際の加工時間とアスペクト比の関係を表わしたものである。この図から判るように、十分時間をかけてエッチングを行ってもアスペクト比は25を超えることはない。

【0008】そこで上記問題を解決する別の方法が米国特許第5,658,472号明細書に開示されている。この方法も上記した方法と同様、エッチングプロセスをエッチング工程とトレンチ側壁面の保護膜形成工程に分け、これらの工程を交互に繰り返すものであるが、側壁面の保護膜の形成を、エッチングを行うチャンバとは分

離した別のチャンバ内で熱酸化膜（ SiO_2 ）を堆積させること、あるいはエッチングを行うチャンバ内で薄い氷の膜を堆積させることによって行っている。これらの膜は、ポリマー系の膜より側壁面のエッチングに対する耐性があるため、アスペクト比向上の面からはポリマー系の膜より効果がある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、保護膜を堆積させる工程毎にチャンバから取り出して熱酸化膜を形成するのは非常に手間がかかり、その都度、基板の昇温、降温度を行なわなければならない、加工のスループットの点において効率的でないという問題がある。一方、氷の膜を保護膜とするためには、エッチング中も基板を氷点下に保たねばならず、装置構成上複雑に成らざるを得ないという問題がある。

【0010】本発明は上記問題に鑑みて成され、比較的簡便な手段を用いて効率的に、アスペクト比の高いトレンチ形状を得られるようにすることを第1の目的とする。

【0011】また、より高アスペクト比化が可能なトレンチの形成が行える半導体装置の製造方法を提供することを第2の目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1に記載の発明においては、マスク（2）を用いて、半導体基板（1）を反応性イオンエッチングするトレンチ形成工程と、反応性イオンエッチング工程で形成されたトレンチ（4）の内壁に保護膜（11）として酸化膜を形成する工程と、トレンチの底部に配置された保護膜をエッチングしたのち、さらに、トレンチの底部において半導体基板を反応性イオンエッチングするトレンチ底部再エッチング工程とを有し、保護膜形成工程とトレンチ底部再エッチング工程とを繰り返し行ない、かつ、トレンチ形成工程、保護膜形成工程、およびトレンチ底部再エッチング工程の各工程をチャンバー内に導入するガス種を切り替えながらプラズマ処理することによって行い、トレンチ形状を形成することを特徴としている。また、請求項3では、保護膜として窒化膜を用いていることを特徴としている。

【0013】このように、まず、トレンチ形成工程で初期のトレンチを形成しておき、この初期のトレンチの内壁面に保護膜を形成してさらに反応性イオンエッチングを行なえば、トレンチの側面に位置する保護膜よりもエッチングレートが早いトレンチ底部における保護膜がエッチングされ、トレンチの深さ方向にエッチングが進んでいく。これを繰り返すことによって、トレンチの幅方向へのエッチングを抑えることができ、高アスペクト比とすることができる。

【0014】このような工程を、チャンバ内に導入するガス種の切り替えによって行なうことで、保護膜形成の

ためにチャンバ内から半導体基板を取り出したり、基板の昇温、降温工程を繰り返したりする必要が無く、製造工程の簡略化を図ることができる。

【0015】なお、請求項2に示すように、保護膜形成工程時に導入するガスを酸素ガスとすれば、保護膜としての酸化膜が形成される。また、請求項4に示すように、保護膜形成工程時に導入するガスを窒素ガスとすれば、保護膜として窒化膜が形成される。

【0016】請求項5に記載の発明においては、保護膜形成工程の前に、反応性イオンエッチングによって形成されたトレンチの内壁に付着した反応生成物(8)を除去する工程を含み、トレンチ形成工程に対してチャンバ内に導入させるガス種を切り替えたプラズマ処理によって、当該反応生成物除去工程を行なうことを特徴としている。

【0017】このように、トレンチ内の反応生成物を除去することにより、トレンチ内の酸化や窒化が効率的に行なえ、保護膜を効率的に形成できる。

【0018】例えば、請求項6に示すように、反応生成物除去工程では、導入するガスとして不活性ガスを含むガス種を用いて反応生成物を除去することができる。具体的には、請求項7に示すように、反応生成物除去工程では、導入するガスとしてArガスと酸素ガスとの混合ガスを用いることができる。

【0019】なお、請求項8に示すように、UV光照射を行ないながら酸素ガスを導入することによって、トレンチ形成工程に生成された反応生成物の除去と共に、トレンチの内壁面に保護膜としての酸化膜を形成することができ、製造工程を簡略化する。なお、請求項9に示すように、プラズマ処理におけるプラズマの生成条件、及び処理時間は各工程ごとに個別に設定する。ることができる。

【0020】なお、請求項9に示すように、プラズマ処理におけるプラズマの生成条件、及び処理時間は各工程ごとに個別に設定する。

【0021】また、請求項10に示すように、トレンチ形成工程、及びトレンチ底部再エッチング工程時に導入するエッチングガスとしてSF₆ガスを含むガスを用いることができる。

【0022】請求項11に記載の発明においては、反応性イオンエッチングによる1回のエッチング量は、エッチング深さもしくはエッチング時間を制御することによって、該反応性イオンエッチングの前に形成された保護膜が該反応性イオンエッチング後においてもトレンチの側壁面を全面的に覆うことができる程度にされることを特徴としている。

【0023】このように、トレンチ底部再エッチング工程では、側壁面に保護膜が残存する範囲で反応性イオンエッチングを行ない、その後、また保護膜形成工程を行なうことによって、反応性イオンエッチングの進行が保

護膜内にとどまり、トレンチの幅自体が広がらないようにできる。

【0024】請求項12に記載の発明においては、トレンチ形成工程およびトレンチ底部再エッチング工程では、反応性エッチングによって形成されるトレンチの側壁の角度が半導体基板の表面に対して90±1度以内となるように、反応性イオンエッチングの時間を制御することを特徴としている。

【0025】このように、半導体基板の表面に対して90±1度以内となるように反応性イオンエッチングを行なえば、トレンチ幅の縮小、拡大をもっとも防ぐことができる。

【0026】なお、請求項13に示すように、各工程を同一チャンバ内で行なうようにすれば、より製造工程の簡略化を図ることができる。

【0027】請求項14に記載の発明においては、反応性イオンエッチングにより半導体基板をエッチングしてトレンチ(4)を形成するトレンチエッチング工程と、トレンチエッチングにより形成されたトレンチの内壁に第1の保護膜としてのポリマー膜(31)を堆積するポリマー膜形成工程とを交互に複数回繰り返す工程と、トレンチエッチング工程とポリマー膜形成工程とを交互に複数回繰り返すことによって深くされたトレンチの内壁に、ポリマー膜よりエッチングに対する耐性が強い第2の保護膜(32)を堆積する第2保護膜形成工程と、を含み、トレンチエッチング工程及びポリマー膜形成工程を複数回繰り返す工程と、第2保護膜形成工程を交互に繰り返すことにより、トレンチを深くしていくことを特徴としている。

【0028】これにより、トレンチが深くなっていく間、トレンチ側面を2層の保護膜で覆うことによって横方向エッチングに対する耐性を強めることができると共に、トレンチ底部にはポリマー膜のみが覆われては除去されることを繰り返すことによってトレンチ深さ方向へのエッチング進行阻害を最小限度にすることができる。従って、トレンチが幅広になったり、先細り形状となることを防止することができ、より高アスペクト比化を図ることができる。

【0029】例えば、請求項16に示すように、トレンチエッチング工程では、エッチングガスとしてSF₆又はC₁を用いることができる。また、請求項17に示すように、ポリマー膜形成工程では、該ポリマー膜を堆積する際の導入ガスとしてC₁F₄又はCF₄とCHF₃の混合ガスを用いることができる。

【0030】また、請求項18に示すように、第2保護膜形成工程時に導入するガスを酸素を含むガスとすることにより、第2の保護膜として酸化膜を形成することができる。また、請求項19に示すように、酸素を含むガスを導入しながらUV光を照射するようにしても第2の保護膜として酸化膜を形成することができる。

【0031】さらに、請求項20に示すように、第2保護膜形成工程時に導入するガスを窒素を含むガスとすることにより、第2の保護膜として窒化膜を形成することも可能である。

【0032】このような窒化膜を第2の保護膜とする場合には、マスクとしてレジストマスクを用いても、窒化膜形成時にレジストマスクが消失してしまわないため好適である。

【0033】なお、請求項15に示すように、トレンチエッチング工程及びポリマー膜形成工程を複数回繰り返す工程と、第2保護膜形成工程とを同一チャンバ内で行い、チャンバ内に導入するガス種を切り替えながらプラズマ処理することで各工程を行うようにすれば、製造工程の簡略化を図ることができる。

【0034】このように示される請求項1乃至21に記載の半導体装置の製造方法を用いて、該トレンチにて力学量検出部が梁構造体で構成された半導体力学量センサを製造できる。

【0035】なお、上記した括弧内の符号は、後述する実施形態記載の具体的手段との対応関係を示すものである。

【0036】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図に示す実施形態について説明する。

【0037】（第1実施形態）本発明の第1実施形態を適用した半導体装置のトレンチ形成工程を図1に示す。以下、図1に基づいて本実施形態における半導体装置のトレンチ形成方法を説明する。

【0038】[図1(a)に示す工程]まず、Si基板1の上に酸化膜(SiO₂)を形成し、この酸化膜の所定領域、つまりトレンチ形成予定領域を開口させて、酸化膜マスク2とする。

【0039】これにより、Si基板1のエッチングされるべき部分が露出した状態となる。

【0040】そして、Si基板1をチャンバ内に入れる。このチャンバの模式図を図2に示す。真空室を構成するチャンバ21には、ガス導入口22とガス排気口23が備えられている。ガス導入口22には、複数種のガスの導入が行なえるように、導入したいガス種の数に応じたガスライン22a、22b、22cが接続されており、各ガスライン22a、22b、22cに備えられた切り替えバルブ24a、24b、24cによって各種ガスのチャンバ21内への流入が制御できるようになっている。なお、本実施形態においては、酸素ガス、Arガス、及びエッチングガスのそれぞれを導入するために3つのガスライン22a、22b、22cが備えられている。

【0041】また、チャンバ21の室内には、RF電源25a、25bが印加される2つの電極26a、26bおよび電極26aに対向配置された接地電極27が備え

られている。これらにより、Si基板1に対してRF電界がかけられるようになっている。

【0042】このように構成されたチャンバ21内の電極26a上にSi基板1を配置し、排気口23から真空ポンプを用いてベースとなるチャンバ真空度を十分高とした後、ガス導入口22から各種ガスを導入しながら、排気口23から排気することでチャンバ21内の導入ガス圧を一定になるようにする。そして、RF電源25a、25bからRF電界を印加し、導入したガス種によるプラズマを発生させる。なお、チャンバ21内に導入するガス種は、以下に示す各工程(図1(b)~図1(e)に示す工程)毎に切り替えバルブ24a、24b、24cによって切り替える。

【0043】[図1(b)に示す工程]切り替えバルブ24a、24b、24cにて、エッチングガス導入用のガスライン22aを開くと共にその他のガスライン22b、22cを閉じることにより、チャンバ21内にエッチングガス3を導入し、酸化膜マスク2をマスクとして1回目のトレンチエッチングを行なう。このとき、Si基板1が所定の深さまでエッチングされるようにする。これにより、Si基板1に初期のトレンチ(初期溝)4が形成される。この時のエッチングは、エッチングガス3として、例えばSF₆等を導入し、チャンバ21内に適当なRF電界を印加することでエッチングガス3をプラズマ化させた反応性イオンエッチング(RIE)で行い、エッチング時間及び深さの関係に応じてトレンチ部分の側壁角度が90±1度以内程度に収まるような異方性の高いものとする。このように側壁角度が90±1度以内程度に収まるようにすれば、トレンチ4の幅の縮小、拡大を少なくすることができるからである。

【0044】[図1(c)に示す工程]Si基板1をチャンバ21内に入れたまま、切り替えバルブ24a、24b、24cにて、エッチングガス導入用のガスライン22aを閉じると共にAr及び酸素(O₂)導入用のガスライン22b、22cを開くことにより、チャンバ21内に導入するガスをエッチングガス3からArと酸素(O₂)の混合ガスに切り替える。その後、再びチャンバ21内にRF電界を印加して(Ar+O₂)混合プラズマ5を発生させる。このプラズマ雰囲気中でSi基板1を処理することで、図1(b)の工程で行なったエッチングの際にトレンチの内壁面に付着した反応生成物8が酸素イオン、もしくは酸素ラジカル6及びArイオン7のスバッタ効果により除去される。ここで反応生成物8とは、エッチング中にトレンチ4の内壁表面とプラズマとの相互作用により内壁表面に付着した堆積物全てを指す。この反応生成物8を除去して内壁表面のSi部分を露出させることができる。

【0045】[図1(d)に示す工程]次に、切り替えバルブ24a、24b、24cにて酸素導入用のガスライン22bのみを開き、チャンバ21内に導入するガス

11

を O_2 のみにしたのち、チャンバ21内にRF電界を印加して O_2 プラズマ9を発生させ、このプラズマ雰囲気中でSi基板1を処理することでトレンチ4の内壁部分に酸素イオン10（あるいは酸素ラジカル）の働きによって保護酸化膜（ SiO_2 ）11を形成する。〔図1

（e）に示す工程〕次に、切り替えバルブ24a、24b、24cにて、エッチングガス導入用のガスライン22aのみを開き、チャンバ21内に導入するガスを再びエッチングガス3に切り替え、その後、チャンバ21内にRF電界を印加する。これにより、初期のトレンチ4
10 の内壁に形成された保護酸化膜11のうち、トレンチ4の底部に形成された部分が異方性エッチングされて、トレンチ4の底部においてSi基板1が露出し、トレンチ4の底部から2回目のRIEによるSi基板1のエッチングが進められる。

【0046】この反応性イオンエッチングによる1回のエッチング量は、エッチング深さもしくはエッチング時間を制御することによって、該反応性イオンエッチングの前に形成された保護酸化膜11が該反応性イオンエ
20 ッチング後においてもトレンチ4の側壁面を全面的に覆うことができる程度にされる。

【0047】なお、このとき、さらに深くなったトレンチ4の内壁面には反応生成物12が形成された状態となる。

【0048】この後、必要に応じて、上記した図1（c）～図1（e）に示す工程を繰り返して行なって、トレンチ4の内壁面に改めて酸化膜11を形成したり、トレンチ4の底部のエッチングを進めたりして、トレンチ4の深さが所望の深さになるようにする。

【0049】このような工程を行なった場合の実験結果
30 について、上述の米国特許第5,501,893号明細書に示す方法（以下、従来方法という）でトレンチを形成した場合と比較して説明する。

【0050】まず、RIE装置を用いて従来方法のように、酸化膜マスクによってパターンニングされた6インチSi基板をエッチングした。その結果、標準的なエッチングを18分45秒行ったところ、マスク開口幅が0.5 μm の部分ではトレンチ深さが12.3 μm 、トレンチ開口幅が0.74 μm となっており、アスペクト比16.6を得た。しかし、さらにエッチング時間を延ばしてト
40 レンチを掘り進めていっても、前述したようにトレンチ溝幅も広がっていくため、70分エッチングを行ったとき、トレンチ深さが22.1 μm 、トレンチ溝幅が0.91 μm となり、アスペクト比24.3となっておりアスペクト比の伸びが頭打ちとなる。試算によれば、この後さらにエッチング時間を延ばしてもアスペクト比は約25で飽和してしまうことがわかった。

【0051】これに対し、従来方法で用いたものと同様のRIE装置を使い、同じエッチング条件で、同様のSi
50 基板1に対して本実施形態の図1（a）～（e）を行

12

ない、その後図1（c）～（e）をもう一度繰り返してトレンチ4を形成した。このとき、図1（b）、（e）に示す工程におけるプラズマエッチングを10分ずつ行なった。つまり、エッチングは合計30分行なった。また、トレンチ4の内壁面に保護酸化膜11を形成する工程を2回行なってトレンチ形成を行なったことになる。

【0052】その結果、マスク開口幅が0.5 μm の部分でトレンチ深さが19.4 μm 、トレンチ開口幅が0.58 μm となり、アスペクト比が33.4のトレンチ形状を得た。つまり、従来方法よりも高アスペクト比のトレンチ形状が得られた。これは、本発明の特徴であるトレンチ4の内壁面への保護酸化膜形成により、エ
ッチング中のトレンチ開口幅の広がり（＝溝幅方向へのエッチング）を抑制できたためである。

【0053】このように、Si基板1をチャンバ21内に入れた状態で、チャンバ21内に導入するガス種を変更することにより、トレンチ形成のためのプラズマエ
ッチング工程及びエッチング時におけるトレンチ開口幅の広がりを抑制するための保護酸化膜形成工程を繰り返
20 行なうことで、従来と比べて簡素な製造工程で高アスペクト比のトレンチ形成を行なうことができる。

【0054】このようなトレンチ形成によってSi基板1が所定パターンで分割されて櫛歯形状となり、櫛歯状構造体の力学量検出部を備えた半導体加速度センサや半導体角速度センサ等の半導体装置が形成される。

（第2実施形態）本発明の第2実施形態について説明する。本実施形態は、第1の実施形態で行なった（Ar+
 O_2 ）混合プラズマによる反応生成物除去工程（図1

（c）に示す工程）、 O_2 プラズマによる保護酸化膜形成工程（図1（d）に示す工程）の代わりに、UV光
30 によって励起された酸素によってトレンチ内壁面の反応生成物除去、トレンチの内壁面の酸化を行うものである。この工程を図4に示す。なお、図1（a）、（b）、（e）に示す工程については、第1実施形態と同様であるため、ここでは省略する。

【0055】図4に示すように、図2に示したチャンバ21内に、酸素ガス13を流しながらSi基板1に対してUV光14を照射する。トレンチ4の内壁面付近の酸素分子15は、このUV光14によって励起され、オゾン（ O_3 ）、ラジカルあるいはイオン状態となり、化学的に極めて活性で酸化力のある状態となる。このような状態とされた酸素分子15がトレンチ4の内壁面にぶつ
40 けると、内壁面上の反応生成物（例えば上述したポリマー系の膜）が分解され、ガス化されて除去される。そして、その後さらにトレンチ4の内壁面に露出したSiが酸化されて酸化膜（ SiO_2 ）16が形成される。

【0056】このような工程を行なった場合の効果について、以下の実験結果に基づいて説明する。

【0057】図5は、上述したRIE装置を用いて、ト
50 レンチ4の内壁面に付着する反応生成物、すなわちポリ

マー系の薄膜を故意にSi基板全面に堆積させた後、Si基板表面をXPS分析法によって存在する元素、および結合種について調べた結果である。C(カーボン)とF(フッ素)に関するピークが非常に強く現われており、基板表面がC-F結合を主体とした膜、つまりポリマー系の膜で覆われていることを示している。

【0058】これに対し、図6は、図5と同じ基板に対して酸素ガス13を流しながらUV光14を照射する処理を行った後、基板表面をXPS分析法により調べた結果である。ポリマー系の膜に由来するC、Fのピークが小さくなり、代わりに酸素のピークが非常に大きくなっている。また、Siのピークも大きくなっている。これはポリマー膜が除去された後の基板表面に酸化膜(SiO₂)16が形成されていることを示す。

【0059】このように酸素ガスを流しながら、UV光を照射することでトレンチ内壁表面で強い酸化作用が生じ、トレンチ内壁面に付着した反応生成物が除去され、その代わりに酸化膜が形成される。

【0060】なお、このようなUV照射工程を行うためには、図2に示したチャンバ21内に、石英ガラスを用いた窓を通してチャンバ21の外部からUV光14を導入したり、グラスファイバ等を用いて直接チャンバ21内にUV光14を導入しながら、酸素ガス13を流すようにすればよい。

【0061】あるいは、エッチングを行うチャンバ21と連結した別チャンバ内にSi基板1を移動させ、そのチャンバ内で酸素ガス13を流しながら、UV光を照射しても良い。ただし、この場合にも、各チャンバを連結しているため、チャンバ21の外にSi基板1を取り出して他の酸化膜製造装置で酸化膜を形成するより、効率的である。

【0062】このようにして、保護酸化膜形成工程を挟みながら、エッチング工程を繰り返していくと、トレンチ4の内壁面にはライン状の極めて微小な段差部分が生じる。これは、トレンチ底部からさらにエッチングが進むとき、この部分の側壁面には保護膜がないため、保護膜で覆われた側壁面よりも溝幅がわずかに広がるため、その違いが極めて微小な段差形状となって残るのである。

(第3実施形態)本発明の第3実施形態について説明する。図7に本実施形態における半導体装置のトレンチ形成工程を示す。以下、図7に基づいて本実施形態における半導体装置のトレンチ形成方法を説明する。

【0063】[図7(a)に示す工程]まず、Si基板1の上に酸化膜マスク2を形成し、トレンチ形成予定領域において酸化膜マスク2を開口させる。

【0064】[図7(b)に示す工程]そして、Si基板1を図2に示したチャンバ21内に収容したのち、SF₆、或いはC₄F₈等をエッチングガス3として導入し、チャンバ21内に誘導結合型プラズマ等の適当なRF電界

を印加することにより、これらのエッチングガスをプラズマ化させ、異方性の高いトレンチエッチングを行い、Si基板1にトレンチ4を形成する。このとき、エッチング時間を決め、Si基板1が所定の深さまでエッチングされるようにする。

【0065】そして、C₄H₈ガス或いはCF₄とCHF₃の混合ガスを導入し、チャンバ21内に誘導結合型プラズマ等の適当なRF電界を印加することによりC₄H₈ガスをプラズマ化させ、トレンチ4の内壁に第1の保護膜としてのポリマー膜31を形成する。このポリマー膜形成工程の時間を決め、ポリマー膜31の膜厚が所望の膜厚となるようにしている。

【0066】[図7(c)~図7(e)に示す工程]続いて、図7(a)、(b)に示したトレンチエッチング工程とポリマー膜形成工程を交互に複数回繰り返す。このとき、トレンチエッチングの時間とポリマー膜形成の時間も図7(a)、(b)に示した工程と同様にする。つまり、トレンチエッチング工程とポリマー膜形成工程を1周期とすると、これらの工程を複数周期行う。これにより、トレンチエッチング工程時のエッチング異方性によって、まずトレンチ底部のポリマー膜が側面よりも先に除去された後、エッチングが進みトレンチ4が徐々に深くなり、トレンチ側面においてはポリマー膜31が除去されてしまうまでの間保護膜として作用するためトレンチ4の横方向エッチングが抑制される。

【0067】なお、図7(a)~(e)は、図1(b)と同様の工程に相当する。

【0068】[図7(f)に示す工程]次に、図1(c)に示した工程と同様にして、トレンチ4の内壁に付着した反応生成物8を除去したのち、トレンチ4の内壁に第2の保護膜としての酸化膜32を形成する。この酸化膜32の形成には図1(d)に示す工程と同様の方法を用いる。

【0069】[図7(g)に示す工程]この後、図7(a)~(e)に示した工程と同様に、トレンチエッチング工程とポリマー膜形成工程を交互に複数回繰り返す。これらの工程により、トレンチ側面がポリマー膜31で保護されながらエッチングが進行するために、まず酸化膜32のうちトレンチ底部に位置する部分がトレンチ側面上に位置する部分よりも先に除去される。その後、トレンチ底部では、ポリマー膜31の堆積と除去を繰り返しつつ深さ方向にエッチングが進む。一方、トレンチ側面では、第2の保護膜としての酸化膜32の上でポリマー膜31が堆積し、2層の保護膜で覆われた状態となる。従って、仮にポリマー膜31がトレンチエッチング工程中に除去されてしまっても、その下に酸化膜32が存在するため、なお側面が保護された状態でトレンチエッチングが進められる。

【0070】このトレンチエッチングに際し、仮に、横方向エッチングに対する耐性が弱い保護膜を一層のみ用

いた場合には、トレンチ4を深くするにつれて横方向エッチングが進み、トレンチ4が幅広になってしまうし、逆に、耐性が強い保護膜を一層のみ用いた場合には、トレンチ底部におけるエッチングが進みにくくなるため、トレンチ4の底部の幅が徐々に狭くなる先細り形状になってエッチングが止まってしまう。

【0071】これに対し、本実施形態では、耐性の強い酸化膜32はトレンチエッチング複数回につき1度形成されるのみである。このため、トレンチ側面を2層の保護膜で覆うことにより横方向エッチングに対する耐性を強めることができると共に、トレンチ底部をポリマー膜31のみで覆うことによりトレンチ深さ方向へのエッチング進行阻害を最小限度にすることができる。従って、トレンチ4が幅広になったり、先細り形状となってエッチングが止まってしまうことを防止することができる。

【0072】[図7(h)に示す工程]そして、このようなトレンチエッチング工程とポリマー膜形成工程を複数回繰り返したのち、再び、図7(f)で示した工程と同様に、トレンチ4の内壁に付着した反応生成物を除去した後、トレンチ4の内壁に第2の保護膜としての酸化膜32を形成する。このように、トレンチエッチング工程とポリマー膜形成工程を複数周期行う毎に、第2保護膜としての酸化膜形成工程を行うようにしている。

【0073】[図7(i)に示す工程]続いて、図7(g)に示した工程と同様に、トレンチエッチング工程とポリマー膜形成工程を繰り返し行う。この時にもトレンチエッチングの際に2層の保護膜で覆われた状態となっているため、図7(g)に示した工程と同様の効果を得ることができる。

【0074】この後、トレンチ深さに応じて、図7(f)～(i)に示した工程を繰り返し行うことにより、所望深さのトレンチ4を形成することができる。このように、トレンチ4が幅広になったり、先細り形状になったりすることがなくなるため、さらなる高アスペクト比化を実現することができる。

【0075】なお、本実施形態では、トレンチエッチング工程時とポリマー膜形成工程時に別種のガスを用いているが、この場合には、図8に示すように、チャンバ21に備えられるガス導入用のガスラインとして、トレンチエッチング工程用のものガスライン22aに加えてポリマー膜形成用のガスライン22a'を備え、工程毎に切り替えて使うようにすればよい。

(他の実施形態)上記各実施形態では、図1(c)の工程においてトレンチ4の内壁面の反応生成物除去を行っているが、この工程は、図1(d)におけるプラズマ発生条件の適正化を行うことで省略可能である。

【0076】また、上記第1実施形態では、トレンチの側壁用保護膜として酸化膜11を形成しているが、保護膜として窒化膜(SiNx)を形成しても第1実施形態と同様の効果が得られる。また、第3実施形態では、第

2の保護膜として酸化膜を例に挙げて説明したが、この場合も窒化膜を用いてもよい。このような場合、図1(c)、(d)、あるいは図7(f)、(h)の工程でO₂を含むガスを用いる代わりにN₂を含むガスを用いて行い、窒素プラズマ雰囲気内で処理することで保護膜(第2の保護膜)として窒化膜を形成することができる。特に、上記各実施形態で使用了酸化膜マスク2に代えてレジストマスクを使用する場合には、酸化膜形成時にレジストマスクが消失してしまうが、窒素プラズマであればレジストマスクが消失しないため、レジストマスクを用いる場合に好適である。なお、この場合にも図1(d)、あるいは図7(f)、(g)におけるプラズマ発生条件の適正化を行うことで、反応生成物除去工程を省略可能である。つまり、酸素プラズマ(あるいは窒素プラズマ)のみで反応生成物を除去しつつ、酸化膜(あるいは窒化膜)を形成することを可能となる。

【0077】さらに、第3実施形態で示した図7(f)の工程では、UV光により励起された酸素ガスを導入し、さらにそれをチャンバ内でプラズマ化することによってトレンチ内壁面の反応生成物を除去したり、トレンチ4の内壁面の酸化を行うようにしてもよい。

【0078】さらに、上記第3実施形態では、トレンチエッチング工程とポリマー膜形成工程を複数周期行う毎に、第2保護膜としての酸化膜形成工程を行うようにしているが、トレンチエッチング工程とポリマー膜形成工程の周期数は、第2保護膜として形成する酸化膜(あるいは窒化膜)がトレンチエッチング工程時にトレンチ側面上から除去されてしまう前に終了するように設定する。これによりトレンチ側面は、常に残存する酸化膜(あるいは窒化膜)によってエッチングから保護されることになり、トレンチが幅広になるのを防ぐことができる。

【0079】また、トレンチエッチング工程、及びポリマー膜形成工程でのプラズマ発生条件は、トレンチが深くなるに従って適宜設定を変更してもよい。通常、トレンチエッチング工程、及びポリマー膜形成工程でのプラズマ条件を固定したままトレンチを深くしていくと、トレンチ底部に到達するエッチャント量が減少するため、徐々に先細り形状となる。従って、トレンチが深くなるに従って、例えばトレンチエッチング工程でのイオンの基板方向への加速電圧を上げる等、プラズマ条件の設定を変更することで深くなってもエッチングの効率低下を防ぐことができ、先細り形状にならなくなる。同様なことは、第2保護膜を形成する際の酸素プラズマ(あるいは窒素プラズマ)の発生条件、工程時間にも当てはまる。通常トレンチが深くなるほど斜め入射イオン等によってトレンチ側面はエッチングされやすくなる。従って、トレンチが深くなるにつれ、酸化膜形成を促進するようなプラズマ発生条件への設定変更や工程時間の延長によって、より側面の保護が完全になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態における半導体装置のトレンチ形成工程を示す図である。

【図2】図1に示すトレンチ形成工程を行なうチャンバの模式図である。

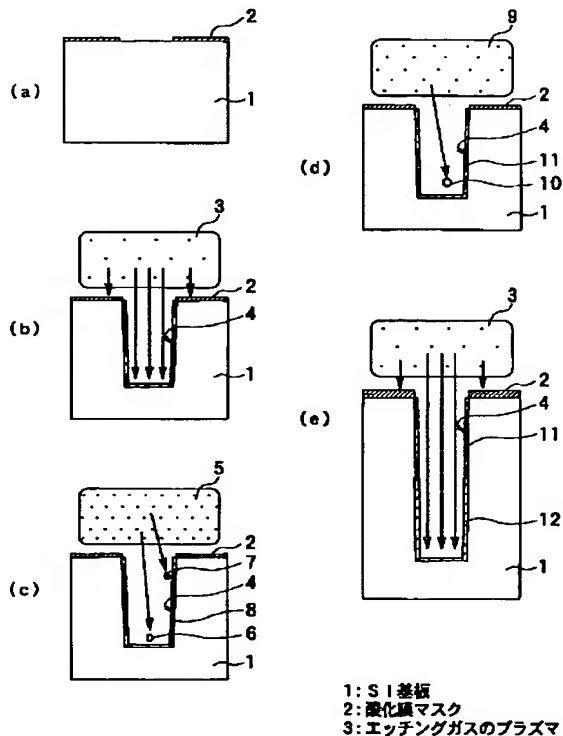
【図3】図1に示すトレンチ形成工程を施した場合の実験結果を示す図である。

【図4】本発明の第2実施形態における半導体装置のトレンチ形成工程を示す図である。

【図5】XPS分析法によってSi基板表面がトレンチ内壁面に付着する反応生成物で覆われている場合を分析した結果を示す図である。

【図6】XPS分析法によって図5に示すSi基板表面を酸素ガスを流しながらUV光を照射する処理を行なっ*

【図1】



* た場合を分析した結果を示す図である。

【図7】本発明の第3実施形態における半導体装置のトレンチ形成工程を示す図である。

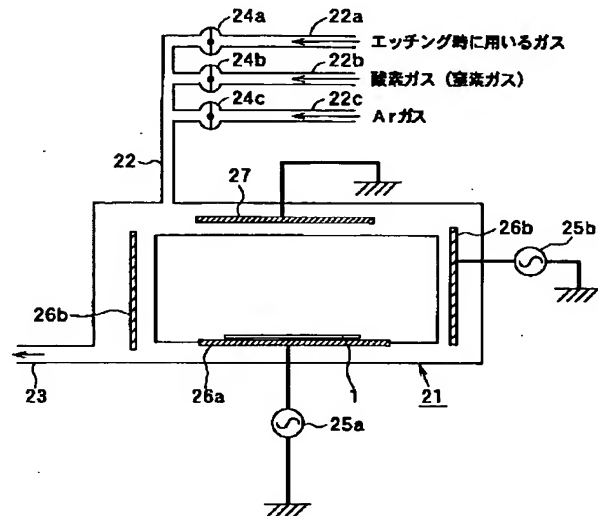
【図8】本発明の第3実施形態に用いるチャンバの模式図である。

【図9】従来技術によってトレンチ形成を行なった場合におけるエッチング時間とアスペクト比との関係を示す図である。

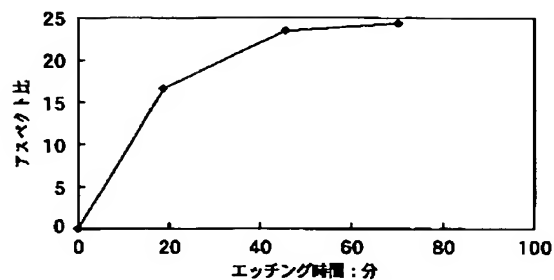
【符号の説明】

1…Si基板、2…酸化膜マスク、3…エッチングガス、4…トレンチ、5…混合プラズマ、6…酸素イオンもしくは酸化ラジカル、7…Arイオン、8…反応生成物、9…O₂プラズマ、10…酸素イオンあるいは酸素ラジカル、11…保護酸化膜、12…反応生成物。

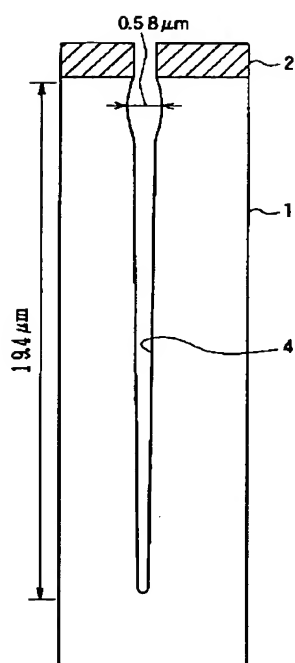
【図2】



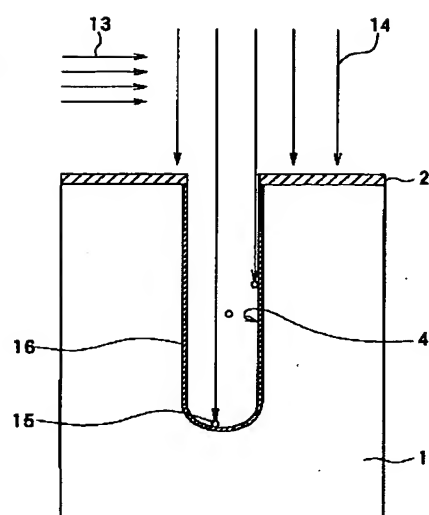
【図9】



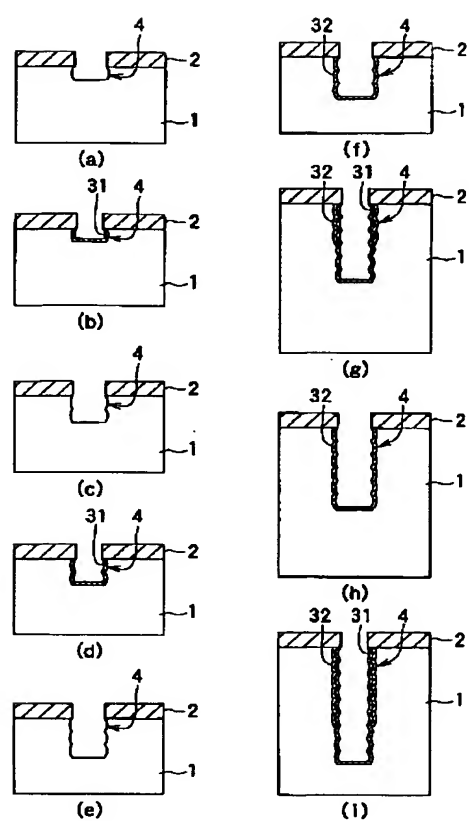
【図3】



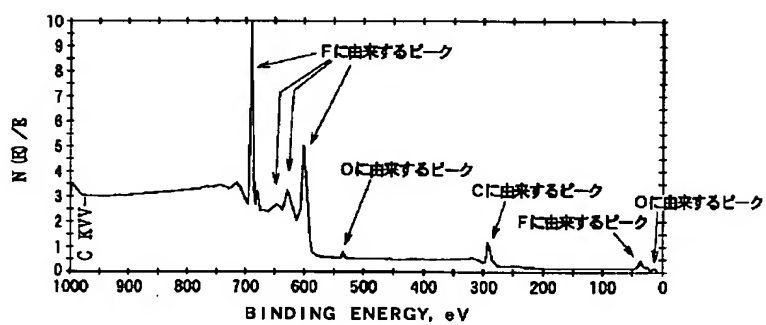
【図4】



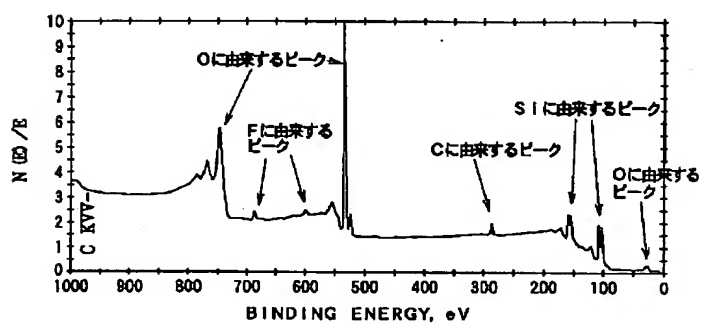
【図7】



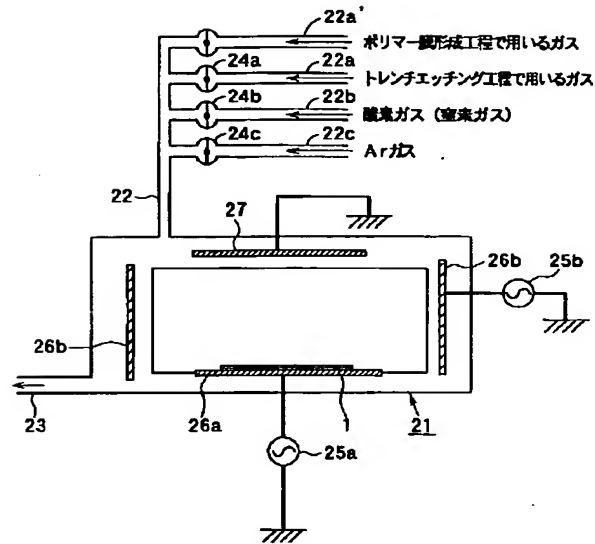
【図5】



【図6】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 加納 一彦
愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会
社デンソー内
(72)発明者 大矢 信之
愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 株式会
社デンソー内

F ターム (参考) 4M112 AA02 BA07 CA24 CA26 DA03
DA11 EA02 EA06 EA07 EA18
5F004 AA16 BA04 DA00 DA01 DA04
DA16 DA18 DA23 DA26 DB03
EA12 EA13 EA28 FA08